

新しい理科カリキュラムの開発研究 (第1報)

— ホウトン科学の概要 —

山 崎 豊*
谷 内 敏 夫**

この研究は、21世紀に対応できる理科カリキュラム開発の基礎研究である。研究テーマにすえたホウトン科学とは、米国マサチューセッツ州ホウトン・ミフリン社 (Houghton Mifflin Co) が出版している小学生用科学教科書「SCIENCE」である (以下、ホウトン科学とよぶ)。

研究内容は、ホウトン科学の内容把握が中心となった。本報では、ホウトン科学の概要紹介とホウトン科学より得たカリキュラム開発に関するいくつかの示唆について報告する。

1. 序 言

最近のエレクトロニクス技術の進歩はめざましく、この新しい技術がこれまでと異った文化を形成しつつあるように思われる。

人間の歴史は、一つの新しい技術革新が、それまでの人々の物の見方や考え方、生活様式などのすべての分野に変化をもたらし、また、その変化に適切に対応できない人間は生きていけなかったことを教えている。今日、進行しつつあるエレクトロニクス技術の進歩は、大きな技術革新であり、産業構造や社会機構、人間の生活のしかた、価値感など、人間の社会生活における既存のものをすべて変えていくであろう。

現在、このような確かな予測のもとに新しい時代に適応できる人間を育成するための教育と

そのカリキュラムが模索されている。

新しい教育の目標は、主体性と創造性を育成することであると、多くの人が主張している。それは今日、一つの新しい創意——情報——が、巨大企業の明日の運命を左右する状況があるからであろう。さらに、新しい時代の生産基盤は「情報」と「独創性」であると考えられるからであろう。

教育の目標は、これまでも

① 文化の伝承

(既習の知識や技術の伝達)

② 文化の創造

(個人の潜在能力を引き出し、独創性を高める)

であると言われてきた。

伝承の部分は、多分にエレクトロニクスメディアによってとって代われると予想すれば、これからの教育の目標は、文化の創造に重点を置くべきであるという主張はもっともなことである。

では、一人ひとりの子どもたちの創造性を高めるには、「何を」、「どのように」学ばせたらよいのだろうか。

創造性は、一斉画一型の教育からは生まれにくいことは多くの人が指摘している。換言すると、創造性の育成をめざすには、多様化・個性

昭和58年 月 日受理

* 金沢大学教育学部

** 金沢市立浅野川中学校

化の教育や総合能力の育成をめざした新しい教育が必要であるということであろう。しかしながら今日のわが国の教育は、知識至上主義の脱皮を願いながら、一斉画一指導で知識の伝達に重点を置かざるを得ない実情である。われわれが新しい理科カリキュラムの開発をめざすのは、このようなわが国の教育の実態に危機感を覚えるからでもある。

ところで、われわれはホウトン科学を研究の中心にすえた。ホウトン科学を研究対象としたのは、次の2つが主な理由である。

一つは、ホウトン科学は、NSTA（全米理科教師協会）が教育の現代化運動で洗い出した科学の基本的概念を中心に開発された科学カリキュラムであるということである。

もう一つは、NSTA は米国の代表的な理科教育研究組織団体であり、次の時代に向けた理科教育カリキュラムのあり方について、これまで提言してきた実績を持っているからである。したがって、NSTA の理科カリキュラムのあり方の提言を具体化したホウトン科学を研究することにより、新しい理科カリキュラム開発の示唆を見い出せると考えたのである。われわれが研究対象としたのは、1979年改訂版——SCIENCE——である。

2. 研究内容

われわれが行った研究内容は、主として次の3点である。

① 新しい理科カリキュラム像の設定

われわれは、新しい理科カリキュラム像として、

- ・探究と創造を共有した教育
- ・科学と芸術の融合する教育

を実現するものを考えた。

② ホウトン科学の内容の読みとり

ホウトン科学の教科書、指導書を邦語訳し、基本概念、基本技能、学習材、指導ストラテジーなどを調べた。

③ ホウトン科学の学習材の検討

ホウトン科学の教科書に取り上げている学

習材を、日本の子どもたちにアプローチさせ、子どもたちの反応をもとに学習材の検討を行った。アプローチさせた学習材は、パターン (Level 4)、モデル (Level 6) の单元より抽出した。

本報では、紙数の制約から②について述べ、①、③については省略する。

3. 研究の結果——ホウトン科学の概観——

(1) ホウトン科学の全体構成

教科書の体裁は、厚手表紙のA4変形版である。教科書は分厚く、ページ数は、わが国の理科教科書の2～3倍もある(表—1)。各ページには色刷のさし絵がふんだんに使われている。

表1 教科書のページ数比較

教科書 学年	ホウトン社 SCIENCE (ページ数)	K社 (日本) (ページ数)	比 (ホウトン社 / K社) (約)
1年	186	64	2.9
2年	213	72	3.0
3年	265	104	2.5
4年	266	128	2.1
5年	322	136	2.4
6年	329	146	2.3

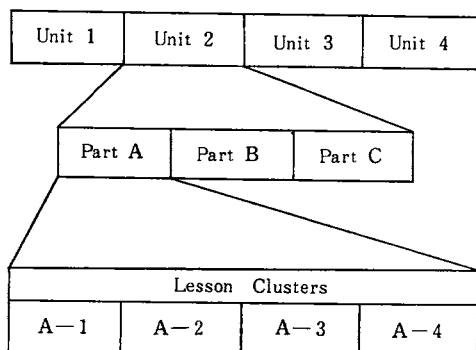
表2 ホウトン科学教科書の体裁

単元 構成 学年	Unit数	Part数	Cluster数
1	4	11	32
2	4	11	32
3	4	12	34
4	4	12	32
5	4	13	33
6	4	12	38
合 計	24	71	201

各学年とも4単元構成となっており、各単元

は大部分が3パートからなっている。各パートは、3～4クラスター（モジュールに相当する）に分かれている（図－1）。各学年のパート数、クラスター数を示したのが表－2である。指導書の説明によると、1クラスターは1週間分の学習内容であるという。

指導書の体裁は、A4版で各学年約400ページの大部のものである。指導書には、教師が実際の指導に際し必要と思われる資料を豊富に、懇切ていねいな解説を付けてのせている。



図－1 単元 構成

(2) ホウトン科学の特徴

ホウトン科学の特徴として、次の4点を取り上げたい。

- ① 概念中心カリキュラムである。
（現代自然科学の体系による）
- ② モジュール方式による編成と四段階指導方略
- ③ 素朴で多種多様な学習材を取り入れた総合理科カリキュラムである。
- ④ わかりやすく、多様化をめざした教科書記述。

次に、これらの特徴について若干説明を加えることにする。

(i) 概念中心カリキュラム

ホウトン科学は、現代自然科学の基本的概念を基に作られた概念中心カリキュラムであると

表3 単元名の比較 —3年—

SCIENCE (ホウトン社)

理科 (K社)

単元名	パート名	単 元 名
1 変 化	物体の変化	1 花やわか葉のきせつ
	物質の変化	2 あたたかさしらべ
	相互作用の変化	3 空気であらう
2 空 間 と 運 動	空 間	4 夏の草木や虫
	位 置	5 雲と天気
	運 動	6 風 車
3 相互作用とエネルギー	相互作用	7 光あつめ
	エネルギー	8 おち葉のきせつ
	エネルギー探し	9 じしゃくのきょく
4 個体群の相互作用	1つの個体群内での相互作用	10 春らしさをさがす
	2個体群間の相互作用	
	多個体群間の相互作用	

言える。わが国の理科カリキュラムとのちがいは、教科書の単元名を比較すれば明らかである（表－3）。

わが国の題科書の単元名は、ほとんどが自然物、自然現象が表題となっている。これは個々の具体的な事物を中心に持ち上げ、事象の理解をめざしながら、その事象の奥にある概念の習得に配慮がなされていると考える。しかしながら全体としては、わが国の理科カリキュラムは概念中心というよりも、むしろ事象中心と考えるべきであろう。

これに反しホウトン科学は、基本的な科学概念が単元の表題となっている。持ち上げている概念もわが国の理科には見られないものがある。例えば、「システム」、「パターン」、「モデル」、「相互作用」等である。そして、ホウトン科学は、これらの概念を次の4つの基本テーマを中心に(A)～(D)の領域を設定し、系統的に配列し、組織化している。

(A) すべての物質には、構造的なパターンがある。

(B) 空間と時間には、順序がある。

表 4 概念領域表

A 領域：すべての物質には構造的なボタンがある。

<p>Level 1</p> <p>Unit 1 物体</p> <p>Part A 探險</p> <p>物体は物質でできている。その特質によって物体は判別したりグループ分けしたりできる。</p> <p>Part B 観察</p> <p>物体の性質は感覚によって探知できる。違った物体でも共通の性質を持つことがある。感覚には限界があるので、一回以上の観察が、しばしば必要とされる。</p> <p>Level 2</p> <p>Unit 1 物質の性質</p> <p>Part A 固体</p> <p>固体には研究しやすい独特の性質がある。固体の性質とその用途は関係している。</p> <p>Part B 液体</p> <p>液体には研究しやすい独特の性質がある。</p> <p>Part C 気体</p> <p>気体には研究できる特性がある。多くの気体、例えば空気は目に見えない。しかし見えるものがある。</p> <p>Level 3</p> <p>Unit 1 変化</p> <p>Part A 物体の変化</p> <p>類似した物体でも すべての性質が全く同じということはほとんどない。変化とは、同一グループ内においての同じような性質のものに見られる違いである。大きなグループ内における変化を調べる一つの方法として、抽出したわずかなサンプルで行う方法がある。</p> <p>Part B 物質の変化</p> <p>軽さや柔軟さのような物理的性質は研究することができる。固体、液体、気体のような物質の相は、温度と関係した変化である。</p> <p>Part C 相互作用の変化</p> <p>一つのシステムは、その部分が変化しなければいつまでも同じ姿を保つ。システムの一部に変化があれば違ったシステムになってしまう。その結果相互作用に変化をきたす。観察と論理的思考を併せて行くとシステムについての予測に使うことができる。</p> <p>Level 4</p> <p>Unit 2 物質の調査</p> <p>Part A 物質の性質</p> <p>物質には特性や特質がある。物質は固体、液体、気体の各相に存在することができる。物体中の物質には構造がある。物体の構造と機能は関係する。</p>	<p>Part B 大地の物質</p> <p>岩石には堆積岩、火成岩、変成岩がある。いつも同じ性質を示す岩石の粒子は鉱物である。時に鉱物は結晶形をしている。多くの金属を含む鉱物は鉱石である。</p> <p>Part C 物質と光</p> <p>光は物質と相互作用するエネルギーの一つの形である。物質には透明なもの、半透明なもの、不透明なものがある。光は方向を変えるものがない限り直進する。光はある種の物質から別の物質に向うときに、曲ったり、屈折したりする。外側に曲がる表面のレンズが拡大鏡である。レンズは表面に像を焦点化する時に使われる。</p> <p>Level 5</p> <p>Unit 2 力</p> <p>Part A 運動における力</p> <p>力は物体を押ししたり引いたりすることができる。力には方向と強さがある。物体にかかる力が釣り合っている時運動の変化は生じない。力は測定可能で、比較することができる。</p> <p>Part B 液体と気体</p> <p>物体の重さは液体中に入った時変わる。物体は浮力によって浮く。質量は変化しない物質の性質である。空気は混合気体である。空気は容器の壁に力を及ぼす。量と力は関係がある。</p> <p>Part C 簡単な機械</p> <p>物体にかかる不釣り合いな力は運動をおこすことができる。簡単な機械は働く力の量と方向を変化させる。てこはバランスを用いた簡単な機械である。</p> <p>Level 6</p> <p>Unit 3 物質のモデル</p> <p>Part A 複数のモデル</p> <p>直接観察できないシステムや相互作用はモデル化することができる。四つの違ったシステムが混合システムを探究するに使われる。四つのうち、微粒子モデルがもっともうまくいく。</p> <p>Part B 微粒子モデル</p> <p>すべての物質はコンスタントに運動する微粒子でできている。物質の粒子は、熱するとより早く運動する。固体から液体、気体へと物質の粒子が変化する時 より自由に運動し、分離していく。物質の粒子は互いに引き合うがその強さはまちまちである。</p> <p>Part C モデルはテストされねばならない</p> <p>微粒子モデルで蒸発、液化、対流などの水のサイクルやある気体と液体の相互作用を説明できる。科学的モデルはテストされ、もし必要ならば新しい証拠に応じて変えられる。</p>
--	--

表5 概念領域表

B 領域：空間と時間には順序がある

<p>Level 1</p> <p>Unit 2 特性</p> <p>Part A 形 物体には、いろいろ異った形のものがある。だから 物体を識別するのに役立つ一つの性質は、形である。</p> <p>Part B 大きさ 大きさというのは、物体が占める空間に関係したものであり、比較して決定されるものである。一まとめになっている物体は、大きさに順序づけができる。物体の大きさは、測定できる。</p> <p>Part C 位置 物体の位置は、ある基準物からの距離と方向で位置づけられる。</p> <p>Part D 対称 左右対称の形は、形・大きさ・距離において、向かい合った要素は似ている。鏡は、左右対称であるかどうかを調べるのに使われる。</p>	<p>Level 4</p> <p>Unit 3 パターン</p> <p>Part A パターンの認識 物体が、相互に関係ある位置に順番に置かれた時、パターンが作られる。 出来事は、記録を残すパターンから復元できる。</p> <p>Part B 構造のパターン 橋や骨格のような物体の構造の中には、支持のパターンがある。支持システムの強さは、そのシステムの中の物質の種類と配置による。物体を最も容易に支えられる場所は、その物体の平衡点である。</p> <p>Part C くり返しのパターン サイクルは くり返しのパターンである。心臓や肺はサイクルで働いている。植物や動物は、生命サイクルを経験する。物質は、サイクルを通して相が変化する。</p>
<p>Level 2</p> <p>Unit 2 形と表面</p> <p>Part A 物体の形 物体には、球・円柱・立方体のような様々な形がある。 物体は、形にしたがって記述されたり、分類されたりする。 物体は、固体・液体・気体になることができる。物体の体積は比較できる。</p> <p>Part B 表面の性質 表面は、平らかであるが、平らでないかのどちらかである。 表面の性質は、でこぼこの程度を含んでいる。表面のまさは、でこぼこの程度に関係がある。</p> <p>Part C 表面の測定 表面は、面積の任意の単位かメートル法単位で測定することができる。 長さや広さは、面積の要素である。表面上の位置は、記述されたり、位置づけられたりできる。</p>	<p>Level 5</p> <p>Unit 3 運動</p> <p>Part A 相対的な運動 物体の運動は、他の物体との関係においてのみ記述できるものである。円運動と回転運動もまた、記述するには基準物が必要である。時計まわり、反時計まわりという用語は回転運動の用語である。</p> <p>Part B 位置の記述 運動や位置を記述するためには、基準格子が必要である。理想的な観察者は、基準格子になれる。数字のついた円や数字のついた塚は、基準格子として有効である。道交点標は、地図上で位置を見つけるのに有効である。</p> <p>Part C 方向の変化 力と運動の方向の変化とは、関係がある。ネジ・車軸・歯車は、力の方向を変える簡単な機械である。歯車・ は、力の向きと大きさ、運動の向きと大きさを変えることができる。</p>
<p>Level 3</p> <p>Unit 2 空間と運動</p> <p>Part A 空間 空間は広大であり、どこにでもある。物体によって占有された空間は、すなわち体積には、測定でき、比較できる。</p> <p>Part B 位置 物体の位置の正確な記述には、ある基準点からの距離と方向の2つが必要である。 方眼や時計の文字盤の数字は、位置を詳しく説明するのに有効である。特定の位置にある物体は、パターンを形成する。</p> <p>Part C 運動 基準点に対して位置が変化している時、その物体は、運動している。</p>	<p>Level 6</p> <p>Unit 2 モデル</p> <p>Part A モデルの世界 モデルは、物体やシステムや相互作用を表現するのに使われる。物体、絵、又は考えは、モデルになる。 理想的なモデルは、実際の物を考察するのに使うことができる。地図は、縮尺モデルである。</p> <p>Part B システムのモデル モデルは、システムの事象を記述したり、説明したりするのに使われる。過去の事象のモデルは、現在と未来への手がかりを提供している。シミュレーションモデルは、現実の社会への洞察力を与えている。</p> <p>Part C モデルを使う モデルは、説明と予測に使うことができる。天気図は天気の予測を助けるモデルである。地震と火山の位置はモデル化でき、その結果として予測ができる。</p>

表 6 概念領域表

C 領域：変化と相互作用は普遍的である

Level 1	Level 4
Unit 3 変化	Unit 4 エネルギー探し
Part A 変化をさせる 物体の性質は、変えられるものもあれば一方変わらないものもある。水と熱は、物体の性質を変えることができる。	Part A 音のエネルギー エネルギーは、あるシステム内で物体に相互作用を起すものである。振動している物体は音を出す。音の伝導体と絶縁体がある。音がどれくらい遠くまで届くかは、伝導体の相と性質それに音の大きさによる。(物体、振音数などの)変化は、音の高さを変える。
Part B 見慣れた変化 変化の過程は、順序づけできる。いくつかの変化は可逆的であるが、ある変化は不可逆的である。変化が起るためには時間が必要である。変化が起こっている時間は様々である。	Part B 熱のエネルギー 熱は、高温の物体から低温の物体に移動する。熱は、物質の三相のすべてで伝導される。物質の種類、熱、そしてエネルギー受容者の大きさは、あるシステム内で変化することがある。温度計は、温度を測定するのに使われる。国際的に受け入れられている温度の尺度は、セ氏である。
Part C どこにでもある変化 空模様、風、降水量、気温は、変化する天気の要素である。季節の変化は識別できる。体の変化や身のまわりの変化は、一様に起っている。いくつかの変化は防止したりもとに戻したりできる。	Part C 電気エネルギー 電気は、完全な電流回路を通して、一つの道を移動する。回路は直列又は並列に接続される。しばしば、ある形のエネルギーが、別の形のエネルギーに形が変えられる。2つ又はそれより多くのエネルギーが、あるシステムでエネルギー連鎖を形作る。
Level 2	Level 5
Unit 3 相互作用する物体	Unit 4 物質とエネルギー
Part A 相互作用 性質の変化は相互作用が起った証拠である。物体の性質は相互作用中に起る変化の種類を決定する。	Part A エネルギーの移動 伝導と対流は、エネルギーが移動する過程である。波動は、物質を通してエネルギーが移動する別の形である。
Part B システム 2つ又は、それ以上の物体が相互作用すると、システムが出来る。いくつかのシステムは、相互作用をくり返すことができる。又いくつかのシステムは、くり返すことができない。機械は仕事をより容易に、速くするシステムである。	Part B 物質内の変化 運動している物体は、その運動によるエネルギーを持っている。温度の変化は、物質の相が変化をしながらエネルギーが移動している証拠である。太陽は、地球上のエネルギーの源泉の供給者である。
Part C 相互作用と時間 時間や砂時計のような装置は、いくつかの相互作用の継続時間を測定するのに使うことができる。	Part C システム内の変化 システムは、化学的または、物理的な変化を受ける。酸-塩基反応は、化学的な変化である。指示薬は、酸-塩基の反応を検出するのに使われる。
Level 3	Level 6
Unit 3 相互作用とエネルギー	Unit 4 エネルギーと生態系
Part A 相互作用 2つ又は、それ以上の物体がお互いに影響し合って変化を起している過程は、すべて相互作用である。システム内で変化する物はいろいろある。相互作用している間、エネルギーはシステムの部分の中を移動する。	Part A 生態系の観察 環境の一部である生物と無生物は、生態系内で相互作用をしている。自然の生態系は研究されモデル化できる。人間の行動は、生態系にかなり大きな影響を持っている。
Part B エネルギー 熱、光、音、電気、磁気は、エネルギーの一般的な形である。エネルギーの送り手からエネルギーの受け手への移動は、制御可能である。エネルギー連鎖の中で、あるシステムのエネルギー受容者は、別のシステムのエネルギー提供者になることができる。	Part B 資源と問題 ある資源は一度しか使われないし、またある資源は再利用される。ある資源は、自然によって置きかえられる。空気・水・土の汚染は、複雑な問題である。
Part C エネルギー探し 相互作用を観察することによってエネルギーの移動を推定することができる。熱は金属の膨張と収縮から推察できるエネルギーの形である。光は、一組みの特性をもったエネルギーの形である。	Part C エネルギーの賢明な利用 地球が供給するエネルギーには限度がある。いくつかの代替エネルギー源には、太陽の力、風の力、筋肉の力がある。エネルギーの使用は、環境によくない影響をもたらす。

表7 概念領域表

D領域：生物は変化し相互作用する

<p>Level 1</p> <p>Unit 4 生物</p> <p>Part A 見つけ出そう</p> <p>物体は、生きているか、生きていないかである。食べること、成長すること、動くこと、反応すること、繁殖することは生物の特徴である。</p> <p>Part B 物質</p> <p>生物は生き成長するために、食物を必要とし、環境の中の変化に反応し、そして繁殖する。生物の動きは記述できる。</p> <p>Level 2</p> <p>Unit 4 同種のなかま</p> <p>Part A 個体群</p> <p>個体群とは、同じ場所に棲む同じ種類の生物の集まりのことである。四角い水槽 (aquariums & terrariums) は、教室で個体群を勉強するのに便利な容器である。</p> <p>Part B 個体群の特質</p> <p>個体群の数は変化し、大きさは増大する傾向にある。動物の個体群には、保護と食料源が必要である。植物の個体群には、土・水・光が必要である。人間の個体群には、家と働いたり遊んだりする場所が必要である。個体群のメンバーは一般に似てはいるが、個体としては独自である。</p> <p>Level 3</p> <p>Unit 4 個体群の相互作用</p> <p>Part A 1つの個体群内での相互作用</p> <p>個体群のメンバーはそのメンバー同士で相互作用する。遊ぶこと、掃除すること、子の世話をすること、移住することはそのような相互作用の働である。家や巣を造ることは物体の相互作用の例である。</p> <p>Part B 2個体群間の相互作用</p> <p>食物摂取は2つの個体群間の相互作用である。人間を含めて、植物と動物の両方を食べる動物がいる。腐肉、腐敗物を食べる動物や分解者は、動物植物の遺骸をえさとしている。</p> <p>Part C 多個体群間の相互作用</p> <p>食物連鎖は食物摂取の相互作用のエネルギー連鎖である。食物連鎖が重なると食物網が形成される。群棲、群落は、同じ場所における相互作用を及ぼし合う多くの個体群で出来ている。</p> <p>Level 4</p> <p>Unit 1 環境</p> <p>Part A ある環境における相互作用</p> <p>有機体は、水・光・空気・温度・空間の量・他の有機体といった要素と相互作用する。ほとんどの有機体は、環境要因がそのニーズに最もよく合う所に棲む。</p>	<p>Part B 個体群が環境を変える</p> <p>動物や植物は環境を変化させる。動物が土を空気にさらすこと、植物が浸食を妨ぐのは、健全な変化の例である。植物が運河をふさぐこと、人が野生動物を危険にさらすことは有害な変化の例である。</p> <p>Part C 環境の変化</p> <p>環境の変化はさまざまな速度の割合で起こる。森の成長は大変ゆっくりしている。急激な変化が山火事・洪水・地震の結果生じる。季節・昇ったり沈んだりする太陽・潮の干満は、規則的で予測可能な変化の例である。</p> <p>Level 5</p> <p>Unit 1 適応</p> <p>Part A 自然界（外部）への適応</p> <p>植物や動物は生存するのに役立つ対外的な適応を行っている。有機体が捕食動物から身を守るのに役立つ構造がある。有機体が食物を取得、摂取し、活動するのに役立つ構造もある。</p> <p>Part B 体内での適応</p> <p>動物は生存していくのに役立つ内部的適応を行っている。例えば消化組織や呼吸組織である。細胞は、組織や有機体を構成する基本的な単位である。細胞は有機体の環境への適応に役立っている。</p> <p>Part C 適応行動</p> <p>動物や植物は生存していくのに役立つ適応行動を行っている。動物は環境要因に反応する多くの生得的行動と習得的行動をする。植物は光や重力に反応する。</p> <p>Part D 生長段階の適応</p> <p>動物や植物は成長段階を通過する。中には急速に形を変える有機体がある。違った生長段階には違った構造や行動の適応がある。このような適応によって、有機体は生き残り繁殖していくのである。</p> <p>Level 6</p> <p>Unit 1 個体群に必要なもの</p> <p>Part A 個体群の成長と食物</p> <p>個体群は生存して成長していくために食物への要求を満たしてやらねばならない。消費者は生産者に頼っている。人間は消費者である。</p> <p>Part B 個体群の繁栄</p> <p>個体群が栄えるか衰退するかは、多くの要因が関係している。動物個体群の淘汰は生存していくための要求を明らかにしてくれる。いくつかの植物群に個体群存続と成長の好例が見られる。</p> <p>Part C 個体群のための燃料</p> <p>個体群は環境から物質を取り入れてそれをエネルギーに変える。エネルギーは生産者と消費者の間に循環する。</p>
--	--

表 8 目標分類表（概念—過程チャート）の例（レベル 6「モデル」単元）

主要 概念 主要 技能 (過程)	モデルの世界 物体、システム、相互作用を表すのにモデルが使われる。 物体、絵、又は考えは、モデルになる。 概念的なモデルは、実際の物体を考察するのに使われる。 地図は、縮尺モデルである。	シスムのモデル モデルはシステムの証拠を記述したり、説明したりするのに使われる。 過去の出来事のモデルは、現在と未来への手がかりを提供する。 シュミレーションモデルは、現実の世界に洞察力を提供する。	モデルを使う モデルは、説明や予測に使われる。 天気図は、天気予報の助けになるモデルである。 地震と火山の位置はモデル化でき、その結果として予測できる。
観 察 と 記 述	モデルの用語を定義する。 観念的なモデルを記述する。 物理的なモデルが観念的なモデルから、どのように発展するか説明する。 モデルは、システムの中で隠れた相互作用をどのように示すか記述する。 隠れたシステムのモデルを描く。 理想的なモデルを定義する。 理想的モデルの特徴を記述する。 モデルの実用性と非実用性とを区別する。 縮尺を定義し、縮尺モデルを記述する。 地球のモデルとして地球儀を記述する。 平面モデルは、球形の物体を示すことができることを述べる。	証拠に基づいて隠れた相互作用のモデルを記述する。 分類システムのモデルを描く。 過去のモデルは、どのような推測に基づいているかを記述する。 手がかりと推測からモデルを発展させる。 過去のシステムの一般的なモデルを発展させる。 不完全なデータからの推測は、仮説であることを述べる。 シュミレーションモデルとそれらの使用法を記述する。 シュミレーションモデルは、どのように現実を表しているかを見定める。	天気図は天気を記述したり、予測したりするのに使われるモデルであることを述べる。 モデルが予測にどのように使われているかを記述する。 人間の内部伝達システムを説明するモデルを描く。 地震は、地かくの動きによって起ることを述べる。 断層という用語を定義する。 断層帯のモデルは、地震と火山との間の関係をどのように示しているかを述べる。 修正メリカリスケールによって地震の強さを記述する。
調 査 と 操 作	論理的なモデルや絵画モデルから物理的モデルを作る。 飛行機の観念モデルをテストするためにモデルの飛行機を作る。 部屋の設計の縮尺図を準備する。	与えられた隠れた相互作用を作るためにシステムを作る。	
組 織 化 と 定 量 化	縮尺モデルから物体の実際の大きさを計算する。		天気図からデータを読んだり、解釈したりする。 反応時間を測定し、それを人間の内部情報伝達システムと関係づける。 地球の大きな断層帯のモデルを作る。 地震計の記録の解釈をする。
一 般 化 と 適 用	人々が問題を解くのに使われるモデルの例を与える。 物理的モデルを作るのに論理的モデル、絵画モデルを適用する。 理想モデルは、なぜ、変える必要があるのかを述べる。 物体の拡大図、縮少図を作る。 拡大と縮少のモデルを適用する。 拡大と縮少のモデルの使用を述べる。 地球のモデルの使用と限界を説明する。 太陽系のモデルに縮尺の概念を適用する。	証拠から相互作用を推測する。 目に見えない相互作用のモデルを発明する。 古物体（有史前の）から過去の人々の技能や生活様式を推測する。 現在における証拠から過去の出来事のモデルを考える。 より現実に近いようにするためにシュミレーションモデルを改善する。 シュミレーションモデルが、どのように使われているかを記述する。	天気図のデータから、仮りの天気予報をする。 右きき、左ききに、そして脳・手・目の伝達に、人間の内部情報伝達システムのモデルを適用する。 揺れの被害が写真になっている地震に、地震の強さの数（震度）をつける。

表9 指導方法表

モデルとは何か

目 標	New Terms
このクラスターの学習の終末段階では、子どもたちは、次のことができなくてはならない。 1 人々が問題を解くのにどのようにモデルが役立っているかを見定める。 2 観念、絵画、物理的モデルを区別する。 3 目に見えないシステムのモデルを認識し、描写する。	新しいモデル 縮尺

■ 提 示

	強調されるプロセス スキル	概 念 内 容
(1) 未来の自動車	観察、記述 調査、操作	・モデルは、物体を表す。 ・異った型のモデルは、人々が問題を解決する助けに使われる。

★ 発 展

	強調される プロセススキル	概 念 内 容
(2a) 考えは、モデルである (2b) あなたがたに見えないもの	観察、記述 一般化	(2a) 考えは、モデルである。 (2a) 物理的モデルは、考えを表すのに使うことができる。 (2b) モデルは、目に見えないシステム、または、相互作用を表すことができる。 (2b) 同じシステムを表わすいくつかの正しいモデルができる

● 適 用

	強調される プロセススキル	概 念 内 容
(3) 椅子をデザインする	記述、操作	・モデルを作ることは、物体の重要な特徴を見分けるのに役立つことができる。 ・モデルは、問題のいくつかの解決法をためすのを可能にする。 ・物理的モデルは、観念モデルと違うかも知れない。

△ 補 充

	強調される プロセススキル	概 念 内 容

評 価

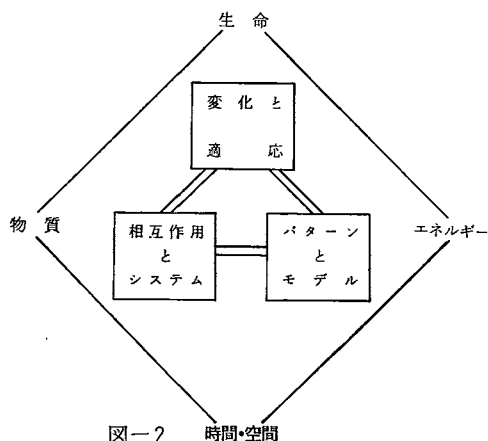
まとめ	子どもたちは、学んだことを次のことをすることによって示す。 1 人々が問題を解くのに役立っている様子を見定める。 2 観念的モデル、絵画的モデル、物理的モデルを区別する。 3 目に見えないシステムのモデルを認識し、絵画モデルを描く。
(4) モデルの世界	

(C) 変化と相互作用は、普遍的である。

(D) 生物は、変化し相互に影響を及ぼす。

表—4, 5, 6, 7は、(A)～(D)の概念テーマを中心に整理された概念領域表である。

(A)～(C)領域には、物理・化学・地学およびそれらの統合概念が、(D)領域は生物に関する概念が取り上げられ整理されている。



図—2 時間・空間

図—2は、われわれが、(A), (B), (C)の3領域の概念を構造化し、概念間の関係を示したものである。この構造化図は、各概念間の関係を示す一例であり、ホウトン科学の著者たちの考えと一致していると断言し得ないが、しかしながら、われわれは、概念構造化図を作成し次の特徴があることに気づいた。

- ① ホウトン科学は、子どもたちの概念形成が具体的概念から抽象的概念へと発展するように概念を配列し、単元構成している。
- ② 概念構造は、自然科学の基本的概念と自然科学だけでなくすべての科学に通じる統合概念——パターン、相互作用、モデル、システム、など——とで作られている。
- ③ 自然科学の基本概念は、統合概念によって結ばれ関係づけられている。

(ii) モジュール方式による編成と四段階指導方略

モジュール方式についての説明は省略する。ここでは、指導書に見られる指導方略（ストラ

テジー）と具体的指導資料について説明する。

指導書は、実際の指導に役立つ具体的な資料を懇切ていねいな説明をつけて記述している。具体的な資料名を上げ簡単な解説を付けながら述べていく。

・単元の概観

単元で教える概念の概観を記述したもの

・目標分類表 (Concept / Process Chart) ……表—8。

単元の目標を概念と過程の2次元マトリックスを用い、行動目標の形で示したものの。

・パート(Part)、クラスター(Cluster)の概観

パート、クラスターで学習する内容の概観を記述したもの。

・指導方略表 (Teaching Strategy Chart)

クラスター、各レッスンの目標・新出用語・概念内容・強調される技能・評価内容を具体的に示したものである。また、各レッスンには次の5つの性格を持たせレッスンの指導目標をより明確にしている(表—9)。

■ Introduction (提示)

★ Development (発展)

△ Enrichment (補充)

● Application (適用)

Evaluation (評価)

・材料表 (Materials List)

材料表には各クラスター用と学年用とがある。材料表にはその材料が使用されるレッスン、必要数、材質、入取先まで示されている。実験器具には試験管とかフラスコのようないわゆる理科器具は見当らず、わたしたちの身のまわりにふつう見られる日用品的なものがほとんどである。

・素朴で多様な学習材

ホウトン科学は、一つの概念の学習に多種多様な素朴な学習材を取り入れている。それらの中にはわが国の教育課程では異った教科や領域

で取り扱われているものが多数見られる。

モデルの単位 (Level 6) で具体例を示す。モデルの学習では、次のような内容の学習をする。

- ・モデルの種類を知る。
- ・モデルの性質を理解する。
- ・モデルを作る。
- ・モデルの利用と有効性を体験したり、理解したりする。

等である。これらの内容の学習材として自動車の設計、地図、集積回路、人の神経系、チェスなどのゲーム、考古学、天気図、火山や地震など種々様々な素材が取り入れられている。

これらの素材の取り扱いについて述べる。例えば、「地図」は、地球の表面を平面にしたモデルであるという取り扱いをする。球形である地球の表面を平面にするには、ある部分を引き伸ばしたり、また、ある部分を引き裂いたりしなくてはならない。子どもたちは、そんなことを学ぶ。従って地図というモデルの読み方（見方）を学びとるわけである。

「考古学」は、数多く集めた遺物や遺跡という情報を観察し、分類し、古代の人々の生活様式や出来事を推論——モデル化——する学問である。推論（モデル化）の過程は、まさに科学であり自然科学と同じ手法をとるのである。このような学習から子どもたちは、モデルは変化する可能性をもっていることや科学の過程を学ぶのである。

・わかりやすく多様化をめざした教科書記述

教科書の記述は、子どもたちが教科書を使い自分で学習ができるように書かれている。知的内容の説明、実験操作のしかた、設問などがわかりやすい記述で示され、配列され、学習プログラム化されている。特に設問には誘発的設問、確認的設問など、いろいろと工夫が見られ、子どもの思考活動を活発に行わせるようにしている。設問の答えとして指導書には、次のような記述が多く見られる。

Answers will vary.

Accept any reasonable answers.

この記述から推測できると思うが、子どもの多様な発想や反応をうながす記述、編成になっているのである。

4. 考 察

以上、ホウトン科学の全体構成と4点にわたって特徴を述べた。これらの特徴をもとに新しい理科カリキュラムの開発という視点から考察を試みる。

(1) カリキュラム開発研究の指針

われわれは、研究対象にすえたホウトン科学を見るにつけ、その異質さに驚いた。それ故に感動し、参考になる点も数多くあった。わが国と欧米各国とは、文化がちがひ、歴史もちがひ。物の見方、考え方にも根本的なちがひがあることがある。従って欧米各国のカリキュラムに優れたものを見い出したとしてもわが国に直輸入することは危険である。この点をふまえて研究を深めるならば、大変意味のあることであると考えた。

長洲南海男⁽¹⁾も「カリキュラム構成とその発展」と題し、次のように述べている。「……日本における理科教育カリキュラム研究の体系的な積み重ねとこれら研究の自立するために、……一層の追求と展開が強く望まれる。

この点で大いに示唆を受けるのが、欧米各国の研究動向である。……」

もちろん、わが国にもすばらしい実践があり、それらを参考にしなくてはならないのは言うまでもない。

(2) 学習内容の精選と教材の精選の混同

ホウトン科学に比べ、わが国の理科教科書はページ数が大へん少ない。わが国の教科書を開くと簡潔な記述で説明された知識が整然と並んでいる。教科書は理科辞典を思わせる。こんな教科書で学ぶ子どもたちは、どれほどの理解ができるだろうか。

現在は確かに情報化時代であり、科学技術も日進月歩しており新しい情報がどんどんおし寄

せてくる。知識激増の今日において学習内容は精選しなくてはならない。学習内容は精選すべきであるが、学習材は豊富でないと理解できない。わが国の教科書を見ると、この点が混同されている感じがする。言い変えると、学習内容の精選が学習材（教材）の精選に論理がすり変えられているのではないかということである。

子どもの多様な興味、関心や個性に応じた学習を行わせるためにも学習材は豊富にすべきであると考ええる。

(3) カリキュラム構成

科学教育の観点から見てわが国のような事象中心カリキュラムがよいのか、ホウトン科学のような概念中心カリキュラムがよいのか。

わが国のカリキュラムは学習対象が自然事象、自然物であるため子どもの興味を引きやすい。だが個々の事実をバラバラに学習するため記憶しなくてはならない知識が多くなり、科学概念による統一した物の見方、考え方は育ちにくいように考えられる。

これに反しホウトン科学のような概念中心カリキュラムは、学習対象が抽象的な概念であるため子どもの学習意欲を起こさせにくい。しかし個々の事象をバラバラに学習することを排しているため、子どもが記憶すべき事柄は少なくなる。また、子どもたちが意欲的に学習に取り組むことが出来れば、科学的な物の見方、考え方が堅固に形成でき、創造的思考へとつながるように考えられる。

このように両者には、それぞれ長所、短所が考えられどちらが優れているとは軽々しく判断できない。しかし、カリキュラムの具体化に際しては十分に研究しなくてはならない問題である。

(4) 学習材の見直し

ホウトン科学は、わが国の教育課程では異った教科や領域で取り扱っている素材を学習材として取り入れている。われわれの考えの中に考古学は社会科、天気のことば第2分野、集積回路は技術科、等といったような固定観念はなかっただろうか。新しい理科カリキュラムの開発

にあたっては、基本的概念の見直しとともに学習材の見直しもしたいものである。

最近、わが国で合科、総合学習が試みられている。現在行われている合科や総合学習の試みは、それなりに目標を設定し成果をおさめているという。だが合科のための合科となっていたり、総合のための総合学習となっているものも数多く見られるときく。特に、学び方のみ重点が置かれているものが多いと言われている。総合学習は、教科の改造につながる取り組みである。実践にあたっては「何を」、「どのように」学習させていくのが明確になっていない。総合学習を考えるにあたって、まず、現行の教科の基本概念や学習材の見直しが必要であろう。その上で合科や総合学習によらないと達成できないものを「ねらい」として設定し実践化されるべきであろう。でないと学習方に傾斜した態度主義の学習に陥り、かつて批判をあげた「はいまわる学習」にしかならないのではないかと考える。

(5) 新しい理科カリキュラム

新しい理科教育は、教師中心・教科中心の理科から子ども中心・総合理科へ発展しなくてはならないと言われている。子どもの自由な発想を取り入れられる子ども中心の理科という点ではモジュール方式が適切な方法であろう。総合理科への発展の観点からは、実験素材において子どもたちが主体的に取り扱えるものが求められよう。子どもたちが自分たちの自由な発想を生かし学習できるようにすることにより総合理科カリキュラムの方向への発展が期待できる。だとすれば、子どもたちが自分たちの自由な発想を生かし学習活動ができる実験開発や実験素材選択が新しい理科カリキュラム開発の重要な仕事となる。

また、教科書記述は、子どもたちがそれで学習できるようになされることは言うまでもない。子どもたちの考えや学習方法を画一化しない記述の工夫も必要である。併せて多様な発想を生む設問の開発も行わなくてはならない。

これらの点においてホウトン科学は、実に多

くの示唆を与えてくれる理科カリキュラムである。

5. 研究の反省と今後の課題

われわれの行った研究は、ホウトン科学を軸にして21世紀へつなげる理科教育像をつかむことであった。

まず、教科書、指導書の邦語訳からスタートした。邦語訳には、金沢大学生（教育）の林，永田嬢の寄与もあったがかなり苦しい作業であった。研究が進むにつれて、そこに収められている「概念」，「目標分類表」，「指導ストラテジー」，「学習材」等を見るにつけ，さぞかし優れたスタッフによって共同制作されたもの

にちがいないと感じるに至った。

多様化する21世紀にむけて，新しいカリキュラムが求められている。学習の方法においても個性化をめざしつつ，いや応なしに進行するであろう。その時，一斉画一授業にのみ適応できる子どもを育て続けていくなれば，学校教育が持つべき教育機能の見直しがせまられる破目に陥りはしないだろうか。

こうした観点での念査は，本研究を基にしながら今後，実践的に研究を深めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 長洲南海男 理科の教育 8月号 1982